

莲草直胸跳甲生殖系统与繁殖特性研究

陈磊¹, 蔡笃程², 陈青¹, 唐超¹, 冯岗¹,
彭正强^{1,*}, 金启安¹, 温海波¹

(1. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所/农业部热带农林有害生物入侵监测与控制重点开放实验室, 海南儋州 571737;

2. 海南大学环境与植物保护学院, 海南儋州 571737)

摘要: 为了解与莲草直胸跳甲 *Agasicles hygrophila* 繁殖密切相关的结构与行为特性, 结合显微解剖和室内观察, 对该跳甲雌雄成虫的生殖系统构造、雌成虫卵巢发育进度以及繁殖特性进行了研究。结果表明: 莲草直胸跳甲雌性生殖系统包括卵巢、侧输卵管、中输卵管、受精囊及其附腺, 左右卵巢一般不对称, 单侧有 12~16 根卵巢管, 受精囊豆芽状, 卵巢管为端滋式; 雄性生殖系统由睾丸、侧输精管及附腺、射精管和阴茎及附属器官组成, 阳基叉式。根据相关形态特征, 卵巢发育进度可分为发育初期(I级)、卵黄沉积前期(II级)、成熟待产期(III级)、产卵盛期(IV级)和产卵末期(V级)5个级别, 各等级在卵巢分区长度(原卵区、生长区和成熟区)及怀卵量上存在显著差异。成虫羽化 2 d 后即可进行交配, 16:00–18:00 时为交配高峰期, 雌成虫产卵高峰期 12:00–16:00 时, 且偏好寄主植株中部偏上叶片背部产卵; 22~32℃ 时, 雌性成虫的寿命和产卵总量随温度的上升而逐渐下降, 25~30℃ 间差异不显著, 但 32℃ 时产卵前期延长至 7.2 d, 寿命和产卵量显著下降, 表明 32℃ 不利于莲草直胸跳甲繁殖。因此, 推测 32℃ 及以上持续高温造成的子代卵量急剧减少, 可能是该跳甲夏季田间种群数量下降的原因之一。

关键词: 莲草直胸跳甲; 生殖系统; 卵巢发育; 繁殖; 生物防治

中图分类号: Q964 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2009)11-1255-06

The reproductive system and reproductive biology of the alligatorweed flea beetle, *Agasicles hygrophila* (Coleoptera: Chrysomelidae)

CHEN Lei¹, CAI Du-Cheng², CHEN Qing¹, TANG Chao¹, FENG Gang¹, PENG Zheng-Qiang^{1,*}, JIN Qi-An¹, WEN Hai-Bo¹ (1. Environment and Plant Protection Institute, China Academy of Tropical Agriculture Sciences/Key Laboratory of Monitoring and Control of Tropical Agricultural and Forest Invasive Alien Pests, Danzhou, Hainan 571737, China; 2. Environment and Plant Protection College, Hainan University, Danzhou, Hainan 571737, China)

Abstract: In order to identify organs and behavior closely related to reproduction, observations on reproductive system and reproductive biology of the alligatorweed flea beetle, *Agasicles hygrophila* were conducted in the laboratory. The results showed that the female adult have 2 ovaries, each of which contains 12–16 telotrophic ovarioles, spermatheca is in the shape of bean sprout, and the aedeagus is fork-type. Ovarian development can be divided into 5 grades based on the morphological characteristics of ovaries: stage I (No oocyte stage), stage II (Previtellogenic stage), stage III (Egg maturation stage), stage IV (Ovipositing stage), and stage V (Post-oviposition stage). Each stage shows significant differences in the length of ovarian zones and egg-carrying number. In addition, the beetles could mate around 2 d after emergence, a copulation peak appears on 16:00–18:00, the oviposition peak occurs on 12:00–16:00, and the beetles prefer to the blade back of leaf in the middle stratum of host. Temperature had a significant effect on longevity and fecundity. Female longevity and fecundity decreased with increasing of the temperature within 22–32℃, and temperatures below 22℃ or above 32℃ were unfavorable for ovarian development. At 32℃, the pre-oviposition period extended to 7.2 d, while the longevity and fecundity decreased significantly. Therefore, it is inferred that high and constant temperature above 32℃ is a possible cause for the population decay of the alligatorweed flea beetle in summer.

基金项目: 国家“973”计划项目(2009CB119200); 国家科技支撑计划项目(2006BAD08A18)

作者简介: 陈磊, 女, 1983 年生, 硕士研究生, 研究方向为喜旱莲子草的生物防治, Tel.: 13698948361; E-mail: chenlei67@126.com

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: lypzhq@163.com

收稿日期 Received: 2009-04-20; 接受日期 Accepted: 2009-10-19

Key words: *Agasicles hygrophila*; reproductive system; ovarian development; reproduction; biological control

莲草直胸跳甲 *Agasicles hygrophila* Selman & Vogt 属鞘翅目 (Coleoptera), 叶甲科 (Chrysomelidae), 跳甲亚科 (Alticinae), 其食性专一, 繁殖力强, 是世界恶性杂草——喜旱莲子草 *Alternanthera philoxeroides* 治理过程中, 应用最为广泛、控草效果显著的一种天敌昆虫, 具有重要的生物防治应用价值 (马瑞燕和王韧, 2005)。当前关于莲草直胸跳甲的研究主要集中在生物学、生态学和控制效果评价方面 (吴珍泉, 1997; Stewart *et al.*, 1999a, 1999b; Buckingham, 2002), 但生殖系统及与之联系较为紧密的交配、产卵等繁殖特性方面报道较少。本研究在详细观察了莲草直胸跳甲雌雄生殖系统结构的基础上, 对雌性卵巢管的发育进度进行了划分, 并对成虫交配、产卵和繁殖力等生物学特性进行了观测, 以期为莲草直胸跳甲形态学研究、生殖生理研究以及繁殖应用提供理论基础和科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

实验用莲草直胸跳甲采自湖南省长沙市郊外该虫自然种群, 室内以喜旱莲子草饲喂, 繁殖多代。

1.2 生殖系统结构与卵巢发育进度分级

取羽化当天以及 1, 3, 5, 7, 9, 11 日龄及之后每间隔 5 d 的雌成虫进行解剖、观察和记录。具体方法为: 将活成虫置于 70% 酒精内至昏迷, 截去头部和前胸, 用一解剖针压住中胸小盾片, 另一解剖针挑去鞘翅, 并自胸腹背板相交处, 沿背中线划开整个腹部, 拨开腹部背板挑出整个腹内组织, 剥离其他组织仅留下生殖系统, 然后使用光学显微镜 Nikon SMZ1500 对解剖结构进行测量、拍摄并绘图。采用皇甫伟国等 (2007) 的分级标准对雌虫卵巢进行等级划分, 略有修订; 卵巢管区段依据颜色和形状划分, 原卵区为滋养细胞, 乳白色, 纺锤状; 生长区为卵母细胞, 乳白近透明, 直桶状; 成熟区膨大 (含卵粒), 颜色稍深于生长区和原卵区。每不同日龄雌成虫分别解剖 5 个有效个体, 用于测量的卵巢为成熟卵巢, 共 30 个有效个体; 雄成虫共解剖 20 个有效个体。其中卵巢短径为两侧卵巢正面观宽度之和, 受精囊短径为球状精包的直径; 怀卵量为成熟区、卵萼、侧输卵管和中输卵管所有卵粒数。

1.3 莲草直胸跳甲成虫繁殖行为观察

取 12 h 内新羽化成虫 30 头, 24 h 连续观察交配行为, 进入产卵期后每间隔 2 h 观察产卵行为。

产卵位置选择试验方法为: 选择发育一致、株形完整喜旱莲子草 5 株, 仅留下顶叶和第 1~4 对叶 (自植株顶端往下, 节间距大于或等于 0.5 cm 的顺次记为第 1, 2, 3 和 4 对叶) 后, 同时直立放入养虫盒内并同时按雌雄比为 2:1 共接入 30 头处于产卵期的莲草直胸跳甲成虫, 24 h 后记录不同叶位叶片表面和背面上的卵块数量, 每一卵块记为选择 1 次, 重复 5 次。试验均在室内进行, 室内温度由空调控制, $26 \pm 3^{\circ}\text{C}$, RH 70% 左右, 光周期 L:D = 14:10。

1.4 莲草直胸跳甲成虫繁殖力

取恒温 27°C 饲养条件下 12 h 内羽化成虫, 雌雄配对后移入平底玻璃管 ($\Phi = 2.7 \text{ cm}$, $h = 6.5 \text{ cm}$) 内饲养, 玻璃管纱布扎口, 滤纸保湿。放入温度分别为 22°C , 25°C , 28°C , 30°C 和 32°C 的人工气候箱中饲养。逐日记录存活及产卵情况直至雌虫死亡, 单管内雄虫先死亡, 则补充羽化时期接近的雄虫。每处理数不少于 30 对。人工气候箱其他参数为 RH = $85\% \pm 10\%$, 光周期 L:D = 14:10。

1.5 数据统计与分析

衡量产卵选择性的指标为选择系数, 计算公式为: 选择系数 = $R_i \sum_{i=1}^m R_i \times 100\%$ (式中 R_i 为莲草直胸跳甲在 i 叶位上的产卵块数, m 为寄主叶位类别数)。

使用 SAS9.0 数据处理软件进行数据间的差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 莲草直胸跳甲雌性生殖系统的基本结构

莲草直胸跳甲雌虫内生生殖系统包括: 1 对卵巢、1 对侧输卵管、1 根中输卵管、受精囊及其附腺 (图 1:A)。卵巢乳白色, 左右并列, 消化道自两侧输卵管间穿过, 末端在卵巢基部上方, 并与之汇合为泄殖口; 成熟后可布满整个腹腔, 端部直达后胸, 单侧卵巢管数为 12~16 根, 两侧管数多不相等; 卵巢管为端滋式, 内含卵粒成熟后进入卵萼, 经侧输卵管进入中输卵管然后产出。受精囊位于两侧输卵管交汇处, 黄褐色, 豆芽状, 具乳白色管状附腺。各结构长径/管长和短径/管径值见表 1。

2.2 莲草直胸跳甲雄性生殖系统的基本结构

莲草直胸跳甲雄虫生殖系统包括内生生殖器 (图 1:B) 和外生殖器 (图 1:C) 两部分。内生生殖器由包被在同一膜构造中的 1 对睾丸, 2 条输精管、附腺及

1 条射精管组成; 外生殖器包括阳茎和阳基, 阳茎色), 端部黑褐色, 阳基叉式, 与阳茎之间有连接为略弯的筒状结构, 黄褐色(羽化初期为浅黑褐色膜。各结构长径/管长和短径/管径值见表 2。

表 1 雌性生殖系统各构造的径长与径宽 (mm)

Table 1 The size (mm) of each organ in female reproductive system

	卵巢	受精囊	卵巢管	中输卵管	侧输卵管
	Egg chamber	Spermatheca	Ovariole	Common oviduct	Lateral oviduct
L	2.15 ± 0.19	0.34 ± 0.03	1.01 ± 0.19	0.23 ± 0.04	0.65 ± 0.11
D	1.52 ± 0.20	0.15 ± 0.02	0.16 ± 0.03	0.21 ± 0.03	0.24 ± 0.08

L: 长径或管长 Long diameter or duct length; D: 短径或管径 Short diameter or duct diameter. 表 2 同 The same for Table 2.

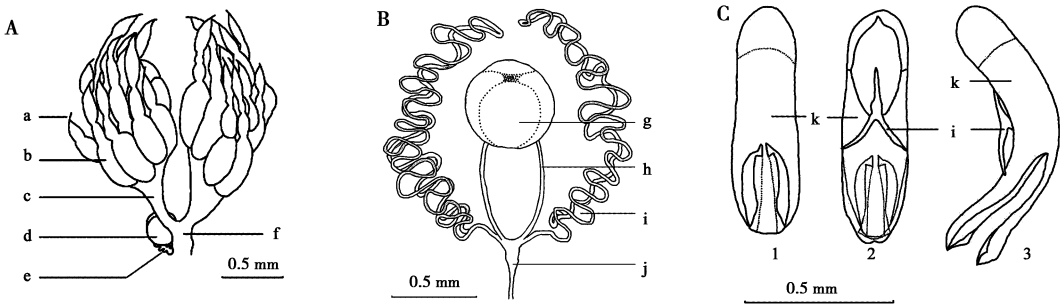


图 1 莲草直胸跳甲雌雄生殖系统结构

Fig. 1 The female and male reproductive system of *Agasicles hygrophila*

A. 雌性生殖系统 Female reproductive system; B. 雄性外生殖器 Male external reproductive system (1. 背面观 Dorsal view; 2. 腹面观 Ventral view; 3. 侧面观 Lateral view); C. 雄性内生殖器 Male internal reproductive system. a: 端丝 Terminal filament; b: 卵巢管 Ovariole; c: 侧输卵管 Lateral oviduct; d: 受精囊 Spermatheca; e: 受精囊腺 Spermathecal glands; f: 中输卵管 Common oviduct; g: 睾丸 Testicle; h: 输精管 Vas deferens; i: 附腺 Accessory gland; j: 射精管 Ejaculatory duct; k: 阳基 Tegmen; l: 阳茎 Aedeagus.

表 2 雄性生殖系统各构造的径长与径宽

Table 2 Size of each organ in male reproductive system

	睾丸	输精管	附腺	射精管	阳茎
	Testicle testicular	Vas deferens	Accessory gland	Ejaculatory duct	Aedeagus
L (mm)	0.55 ± 0.04	1.02 ± 0.46	13.35 ± 2.18	1.44 ± 0.19	1.11 ± 0.25
D (mm)	0.47 ± 0.03	48.8 ± 10.48 *	66.9 ± 9.19 *	50.7 ± 5.72 *	0.25 ± 0.03

* 测量单位为 μm。The data marked asterisks were in μm.

2.2 莲草直胸跳甲卵巢发育进度分级

根据卵巢的形状、卵的形成过程、卵巢萼内有无卵粒以及卵黄沉积情况, 将莲草直胸跳甲的雌虫卵

巢发育进度分为 5 个等级(表 3), 即发育初期(Ⅰ级), 卵黄沉积前期(Ⅱ级), 成熟待产期(Ⅲ级), 产卵盛期(Ⅳ级)和产卵末期(Ⅴ级)。

表 3 莲草直胸跳甲卵巢发育分级及其分级特征

Table 3 Stages of *Agasicles hygrophila* ovarian development and their description

发育阶段	分级	卵巢形状	卵巢管内卵情况	卵萼内卵情况	卵黄沉积情况	原卵区情况
Developmental stage	Stage grading	Ovary shape	Eggs in ovarioles	Eggs in calyx	Vitellogenesis	Germanium
发育初期 No oocyte stage	I	长约 1.5 mm, 卵巢管近透明, 细小短直, 纺锤状	无	无	无卵黄沉积	-
卵黄沉积前期 Previtellogenic stage	II	长约 1.7 mm, 卵巢管乳白色, 均匀膨大为 3 节	无或少量未成熟卵	无	无卵黄沉积	不明显
成熟待产期 Egg maturation stage	III	长约 1.9 mm, 卵巢管继续膨大, 形成卵室, 基部具成熟待产卵粒	大量未成熟卵, 少量成熟卵	无	开始有卵黄沉积	纺锤状
产卵盛期 Ovipositing stage	IV	长约 2.1 mm, 卵萼内充满大量成熟待产卵粒, 卵巢管壁和卵萼壁薄, 易破裂	大量成熟卵和未成熟卵	大量	大量卵黄沉积	棒状
产卵末期 Post-oviposition stage	V	卵巢管成熟区内卵粒颜色沉着明显, 且发育不全, 卵巢管中下部显著萎缩	少量卵	少量或无	少量卵黄沉积	棒状

发育初期(I级):整个卵巢均匀透明,组织结构幼嫩易破损,与其他各级卵巢区别明显(图 2:A);

卵黄沉积前期(Ⅱ级):卵巢开始发育的状态,卵巢管无色透明,内部浑浊状并开始膨大,卵粒区分不明显(图 2:B);

成熟待产期(Ⅲ级):卵黄开始沉积,在卵巢管基部开始出现少量卵黄色待成熟卵粒,侧输卵管开始膨大(图 2:C);

产卵盛期(Ⅳ级):卵巢管基部卵巢管壁膨胀,

易破碎,剖开雌虫腹部后大量成熟的卵从卵巢管内散出,难以解剖到完整的卵巢(图 2:D);

产卵末期(V级):体内的卵开始耗尽,成熟卵和未成熟卵均明显减少,卵巢管基部出现颜色沉着、个体小、不能完成发育的畸形卵粒,卵巢管中下部和侧输卵管萎缩明显(图 2:E)。

将 5 个等级的卵巢管各分区长度及平均怀卵量数据进行统计检验(表 4),以明确卵巢发育分级的合理性。

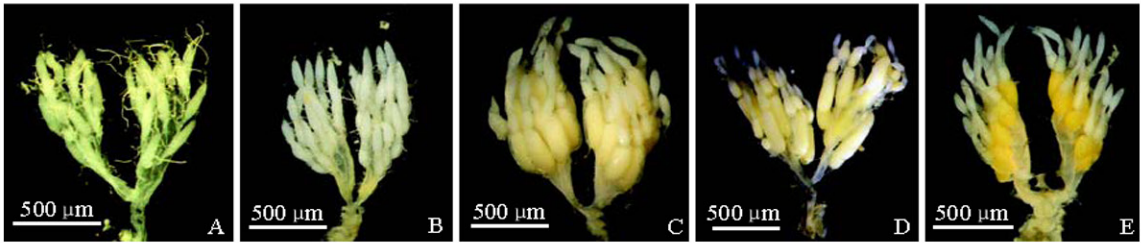


图 2 莲草直胸跳甲不同等级卵巢的形态特征

Fig. 2 Ovarian morphology of *Agasicles hygrophila* in different ovarian developmental stages

A. 发育初期 Noocyte stage; B. 卵黄沉积前期 Previtellogenic stage; C. 成熟待产期 Egg maturation stage; D. 产卵盛期 Ovipositing stage; E. 产卵末期 Post-oviposition stage.

表 4 莲草直胸跳甲各级别卵巢不同分区长度及怀卵量

Table 4 Egg-carrying number and length of each zone between different ovarian development stages of *Agasicles hygrophila*

发育阶段 Developmental stages	平均长度 Mean length of each zone (mm)			平均怀卵量 Mean number of eggs
	成熟区 Maturation zone	生长区 Growth zone	原卵区 Germarium	
I	—	—	—	0.0 ± 0.00 d
II	0.161 ± 0.041 c	0.065 ± 0.007 c	0.225 ± 0.029 ab	0.5 ± 0.43 c
III	0.341 ± 0.065 b	0.073 ± 0.019 bc	0.209 ± 0.031 b	1.9 ± 0.28 b
IV	0.546 ± 0.151 a	0.108 ± 0.032 a	0.249 ± 0.040 a	2.4 ± 0.43 a
V	0.395 ± 0.084 b	0.095 ± 0.036 ab	0.249 ± 0.036 a	1.0 ± 0.71 b

I 级卵巢管尚未出现分区,以“—”标示。发育阶段的分级同表 3。表中数据为平均值 ±SD,同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著(Duncan 氏新复极差检验,0.05);下同。Different ovarian zones have not yet appeared in the stage I, and this is indicated with “—”. The codes of developmental stages were the same as Table 3. The data in the table are mean ±SD, and those in the same column followed by different small letters are significantly different by Duncan’s multiple range test ($P < 0.05$). The same below.

从表 4 可以看出,不同等级的卵巢管各分区长度及平均怀卵量间存在显著差异。I 级卵巢管未出现分区,未见卵个体产生。除 I 级外各级别的原卵区长度差异并不大,但Ⅲ级显著短于其他各等级,可能与卵巢在Ⅲ级开始进入加速发育阶段,原卵区养分消耗大有关。生长区和成熟区长度均随着卵巢的发育而增长,在Ⅳ级达到最大长度,V 级时开始萎缩;单卵巢管怀卵量也表现出相似的趋势。

2.3 莲草直胸跳甲成虫繁殖行为

莲草直胸跳甲羽化 2 d 后即可见交配行为,一生交配多次。交配时间最短约 2 min,最长约 15 min,平均 5 min 左右。16:00 – 18:00 时出现交配高峰,节律受光周期影响,光线强烈时交配行为少。交配前期,雌成虫腹末膜构造外突,周围雄成虫明显受到引诱,开始迅速爬到雌虫背上,反复调整位置后即进入交配过程。种群密度高时,雄成虫

间具交配竞争行为。雌成虫每次产卵前有 1~2 次交配行为，进入产卵盛期后一般一天至少产卵 1 块，且单卵块的卵数较为稳定。平均 53.17% 的产卵个体选择在 12:00–16:00 时产卵，当该时段温度提高时，产卵个体比率上升。雌成虫将 94.44% 的卵块产在叶背，对顶叶以及第 1, 2, 3, 4 对叶的选择系数分别为 15.16%, 28.03%, 35.18%, 10.01% 和 11.62%，其中第 2 对叶片的选择系数显著高于其他各叶位，说明该叶甲偏好选择在寄主植株顶稍偏下部位的叶背产卵。

2.4 莲草直胸跳甲成虫繁殖力

温度对莲草直胸跳甲的繁殖力具有显著影响

(表 5)。随着温度上升，产卵前期先缩短后延长，25~28℃ 时显著短于 22℃ 的 7.15 d 和 32℃ 的 7.17 d，说明 25~28℃ 是莲草直胸跳甲生殖系统发育的最佳温度，32℃ 以上和 22℃ 以下的温度明显减缓其发育速率。雌成虫的寿命和总产卵量随着温度升高逐渐缩短和降低，寿命由 22℃ 时的 52.3 d 缩短为 32℃ 时 37.5 d，总产卵量则自 1 305.6 下降到 553.2，32℃ 时的日平均产卵量仅 13.3，显著低于其他温度。此外，较之 25℃，28℃ 和 30℃，32℃ 处理下该叶甲的寿命缩短了仅 10 d 左右，但卵量却下降了 1 倍以上，表明 32℃ 对莲草直胸跳甲生殖的影响远大于其对寿命的影响。

表 5 温度对莲草直胸跳甲繁殖力的影响
Table 5 Effect of temperature on fecundity of *Agasicles hygrophila*

温度 (℃) Temperature	产卵前期 (d) Pre-oviposition	日平均产卵量 Eggs laid per day	产卵总量 Eggs laid/♀	寿命 (d) Longevity
22	7.15 ± 1.52 a	25.0 ± 4.8 a	1 305.6 ± 278.0 a	52.3 ± 11.8 a
25	5.41 ± 0.81 b	25.9 ± 3.1 a	1 264.8 ± 241.8 ab	48.8 ± 13.9 ab
28	5.04 ± 0.65 c	26.0 ± 6.3 a	1 163.7 ± 283.7 b	44.7 ± 14.3 b
30	5.17 ± 0.93 c	26.0 ± 7.0 a	1 170.1 ± 346.2 b	44.4 ± 13.2 b
32	7.17 ± 2.00 a	13.3 ± 7.5 b	553.2 ± 243.0 c	37.5 ± 14.4 c

3 结论与讨论

昆虫生殖系统组织结构的研究对于昆虫近缘种鉴别、种群年龄结构监测、数量预测预报以及性信息素提取等具有重要意义。叶甲科昆虫雌性生殖系统与其他类群差别不大，主要在卵巢管数目、受精囊和阴道片形状上可能存在差异，雄性个体的阳茎形状是种间区分的重要依据(张勇等, 2006)。本文对莲草直胸跳甲生殖系统的形态结构和空间位置的描述比以往的研究更为直观和详细。结果表明，莲草直胸跳甲的雌雄生殖系统的形态结构与付丽君等(1999)的描述基本吻合，但雌虫单侧卵巢管数 12~16 根，多于其描述的 10~11 根(付丽君等, 1999)。此外，付丽君等(1999)观察到的雄虫输精管附腺平滑且长度较短，而本研究发现其长达 13.35 mm，且为卷曲状，这可能与所选雄虫处于不同日龄期有关。

本文在相关研究的基础上首次对莲草直胸跳甲卵巢的发育进行详细的分级研究，将其卵巢管的发育分为 5 个级别。在目前的研究报道中，翟保平等(1999)和皇甫伟国等(2007)分别将柑桔爆皮虫

Agrilus auriventris 和稻水象甲 *Lissorhoptrus oryzophilus* 的卵巢管发育分为 6 个级别，陈斌等(2001)将码绢金龟 *Maladera* sp. 的卵巢管发育分为 5 个级别。其中，翟保平等(1999)在产卵末期后增加了产后衰老期，皇甫伟国等(2007)则将蛹末期划分为发育初期。本研究在以往卵巢发育分级理论的基础上，根据莲草直胸跳甲自身特点进行划分。针对该叶甲蛹末期与羽化初期卵巢形态特征差异较小及产卵末期不明显的特点，未独立划分发育初期和产后衰老期。而且随着所划分级别的上升，卵巢管的成熟区、生长区长度及怀卵量上均具有一个先上升至Ⅳ级(产卵盛期)达到峰值，后下降的过程，且不同级别间存在显著差异。该结果符合卵巢发育的基本规律，也证实了将卵巢发育分为 5 级的合理性。此外，室内观察到，同一个体的单卵块卵数在 25~34 之间，进入产卵盛期后会重复出现，这与解剖中观察到的单个体卵巢管总数为 24~32 条，且每根卵巢管中只产生一个近成熟卵的现象基本吻合。因此，根据雌虫重复性较好的单卵块卵数推测该个体卵巢管数是可行的。此特性在荔枝蝽 *Tessartoma papillosa* 和大斑芜菁 *Mylabris phalerat* 上也有得到证

实(黄文华和杨兆芬, 2001)。

一般来说, 昆虫生殖的适温范围接近生长发育的适温范围, 但最适范围却比生长发育的要窄(张孝羲, 2002), 而温度对昆虫产卵量和产卵速率的影响实际上是对内生殖器官生长发育作用结果的最终表现, 高温对卵巢发育或卵子发生常具有明显的抑制作用, 甚至引起不育(Audit-Lamour, 1981; 叶恭银等, 2000)。本研究中 32℃ 处理下莲草直胸跳甲的产卵前期延长, 产卵量显著下降, 同时, 实验过程中我们也观察到, 32℃ 处理下的绝大部分雌性个体产卵不规律, 单次产卵数小于 10 粒, 后期基本只存活不产卵。说明 32℃ 即对其产卵产生了明显不利影响, 可能抑制了其卵黄蛋白的合成。因此, 我们推测 32℃ 及以上的持续高温会造成子代卵量的急剧减少, 可能是夏季田间种群数量下降的原因之一。

参 考 文 献 (References)

- Audit-Lamour C, Busson D, 1981. Oogenesis defects in the *ecd-1* mutant of *Drosophila melanogaster*, deficient in ecdysteroid at high temperature. *J. Insect Physiol.*, 27: 829–837.
- Buckingham GR, 2002. Alligatorweed. In: Driesche R, Lyon S, Blossey B, Hoddle M, Reardon R eds. Biological Control of Invasive Plants in the Eastern United States. USDA Forest Service Publications, America. 5–15.
- Chen B, Yang BL, Chen GH, Tao M, 2001. Study on the developmental process gradation of female reproductive system and its use in forecasting the occurrence period of *Maladera* sp. *Journal of Southwest Agricultural University*, 23(6): 518–521. [陈斌, 杨本立, 陈国华, 陶玫, 2001. 码绢金龟雌性生殖系统发育级别在测报上的应用. 西南农业大学学报, 23(6): 518–521]
- Fu LJ, Wu ZQ, Fu ZJ, 1999. Studies on the ovary development and emergence rhythm of *Agasicles hygrophila*. *Wuyi Science Journal*, 15: 74–78. [付丽君, 吴珍泉, 付志坚, 1999. 条纹叶甲羽化节律与卵巢发育进度的研究. 武夷科学, 15: 74–78]
- Huang WH, Yang ZF, 2001. An anatomy and comparison of reproductive system of two meloids and the histological study on reproductive gland of *Mylabris phalerata*. *Journal of Fujian Normal University (Natural Science)*, 17(1): 87–90. [黄文华, 杨兆芬, 2001. 两种芫菁生殖系统比较解剖及大斑芫菁生殖腺组织学探究. 福建师范大学学报(自然科学版), 17(1): 87–90]
- Huangfu WG, Wei SJ, Zheng HH, Liu PC, Huang W, Shi ZH, Chen XX, 2007. Ovarian development of *Agrilus auriventris* Saunders (Coleoptera: Buprestidae). *Acta Entomologica Sinica*, 50(7): 682–688. [皇甫伟国, 魏书军, 郑宏海, 刘鹏程, 黄蔚, 施祖华, 陈学新, 2007. 柑桔爆皮虫卵巢发育动态. 昆虫学报, 50(7): 682–688]
- Ma RY, Wang R, 2005. Invasive mechanism and biological control of alligatorweed, *Alternanthera philoxeroides* (Amaranthaceae), in China. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 11(2): 246–250. [马瑞燕, 王韧, 2005. 喜旱莲子草在中国的入侵机理及其生物防治. 应用与环境生物学报, 11(2): 246–250]
- Stewart CA, Chapman RB, Barrington AM, Frampton CMA, 1999a. Influence of temperature on adult longevity, oviposition and fertility of *Agasicles hygrophila* Selman & Vogt (Coleoptera: Chrysomelidae). *New Zealand Journal of Zoology*, 26: 191–197.
- Stewart CA, Chapman RB, Emberson RM, Syrett P, Frampton CMA, 1999b. The effect of temperature on the development and survival of *Agasicles hygrophila* Selman & Vogt (Coleoptera: Chrysomelidae), a biological control agent for alligator weed (*Alternanthera philoxeroides*). *New Zealand Journal of Zoology*, 26: 11–20.
- Wu ZQ, 1997. Effect of temperature on the growth and development of *Agasicles hygrophila*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 8(2): 181–184. [吴珍泉, 1997. 温度对空心莲子草叶甲生长发育的影响. 应用生态学报, 8(2): 181–184]
- Ye GY, Hu C, Gong H, 2000. Effect of high temperature on ovarian growth and development in the Japanese oak silkworm, *Antheraea yamamai* (Lepidoptera: Saturniidae), a precious silkworm. *Acta Ecologica Sinica*, 3(20): 490–494. [叶恭银, 胡萃, 龚和, 2000. 高温对珍贵绢丝昆虫——天蚕卵巢生长发育的影响. 生态学报, 3(20): 490–494]
- Zhai BP, Shang HW, Cheng JA, 1999. Classifying the ovarian development of rice water weevil and its application. *Chinese Journal of Rice Science*, 13(2): 109–113. [翟保平, 商哈武, 程家安, 1999. 稻水象甲卵巢发育程度的分级及其应用. 中国水稻科学, 13(2): 109–113]
- Zhang XX, 2002. Insect Population Ecology and Forecast. China Agriculture Press, Beijing. [张孝羲, 2002. 昆虫生态及预测预报. 北京: 农业出版社]
- Zhang Y, Wang SY, Yang XK, 2006. A new species of the genus *Altica* Geoffroy (Coleoptera, Chrysomelidae, Alticinae) from China. *Acta Zootaxonomica Sinica*, 31(4): 855–858. [张勇, 王书永, 杨星科, 2006. 中国跳甲属一新种记述(鞘翅目, 叶甲科, 跳甲亚科). 动物分类学报, 31(4): 855–858]

(责任编辑:袁德成)